

EUROOPASSA KÄYTÖSSÄ OLEVIEN KAASUKÄYTTÖISTEN KUORMA- JA LINJA-AUTOJEN KULUTUKSET, PÄÄSTÖT JA LUOTETTAVUUS

Sami Lindgren

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014

Logistiikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) Lindgren, Sami	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 30.05.2014
	Sivumäärä 33	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi EUROOPASSA KÄYTÖSSÄ OLEVIEN KAASUKÄYTTÖISTEN KUORMA- JA LINJA-AUTOJEN KULUTUKSET, PÄÄSTÖT JA LUOTETTAVUUS		
Koulutusohjelma Logistiikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Viitala, Jaakko		
Toimeksiantaja(t) JAMK logistiikka		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyö on osa JAMK logistiikan vetämää useista tutkimuksista koostuvaa hanketta, jossa tutkitaan ei-fossiilisten polttoaineiden käyttöä liikenteessä. Hankkeen taustalla ovat ilmastonmuutoksesta johtuva halu löytää ympäristöystävällisempiä liikennepolttoaineita sekä Euroopan Unionin päästörajoitusohjelma. Opinnäytetyön kohteena olivat kaasu- ja dual-fuel-käyttöiset linja- sekä kuorma-autot ja niiden käyttökokemukset, etenkin taloudellisuus, ympäristöystävällisyys, käytettävyys ja luotettavuus. Tavoitteena oli tutkia kaasun käyttökokemuksia liikennepolttoaineena Euroopassa Suomen ulkopuolella.</p> <p>Teoreettinen osa tarkastelee liikenteen päästöjä sekä vaihtoehtoisia liikennepolttoaineita. Teoriapohjassa käydään läpi myös metaanikaasujen ominaisuuksia liikennepolttoaineena, sen päästöjä sekä kalustoa että tankkausasemia. Tutkimusaineisto koostuu Amsterdamissa syksyllä 2013 pidetyn NGV2013-konferenssin esitysmateriaalista, jota saatiin useilta eri yrityksiltä Euroopasta.</p> <p>Tuloksista käy ilmi, että metaanikaasu on varteenotettava vaihtoehto dieselin korvaajaksi liikennepolttoaineena. Ongelmia on kuitenkin useita aina kaasun jakeluverkoston suppeudesta moottorin tehonhäviöihin sekä kaasuteknologian kalliimpaan hankintahintaan sekä huoltokustannuksiin. Tutkimus ei paljastanut mitään perustavanlaatuisia ongelmia kaasuteknologian kanssa, vaan kyse on kaasun saatavuudesta ja kalleudesta. Nykyisillä fossiilisten polttoaineiden hinnoilla kaasuteknologia voi kilpailla vain ympäristöystävällisyydellä, mutta yritykset painottavat ajattelussaan usein kustannuksia.</p>		
Avainsanat (asiasanat) maakaasu, biokaasu, nestekaasu, CNG, CBG, LNG, metaani, vaihtoehtoinen polttoaine, dual-fuel, linja-auto, kuorma-auto		
Muut tiedot		



Author(s) Lindgren, Sami	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 30052014
	Pages 33	Language Finnish
		Permission for web publication (X)
Title CONSUMPTION, EMISSIONS AND RELIABILITY OF THE GAS-FUELLED TRUCKS AND BUSES USED IN EUROPE		
Degree Programme in Logistics Engineering		
Tutor(s) Viitala, Jaakko		
Assigned by JAMK Logistics		
<p>Abstract</p> <p>The thesis is a part of a project, including several other researches led by JAMK Logistics. The project studied the use of alternative, non-fossil fuels in traffic in Europe. The motivation behind this study was the will to find more environmentally friendly fuels for traffic and the rising awareness of the greenhouse effect with the European Union's limits for emissions in traffic. The thesis studied gas-operated buses and trucks, focusing especially on the fuel efficiency, emissions and reliability of such vehicles. The target was to find information and study experiences of gas as a traffic fuel in companies in Europe, excluding Finland.</p> <p>The theoretical part of the thesis examines the current traffic emissions and also some alternative fuels and their possibilities. The theoretical part also introduces the properties of methane gas as a traffic fuel, its emissions, and some technology in trucks as well as in fuel stations. The majority of the material was obtained from different companies attending the NGV2013 natural gas conference in Amsterdam, The Netherlands, in 2013.</p> <p>The results of the thesis show that methane is a viable option as an alternative fuel to replace diesel. There are some problems, however, starting from the limited supply chain for gas, up to power losses in engines and higher acquisition costs, as well as higher maintenance costs. However, no crucial problems were found with using gas as a traffic fuel, but the challenges are mainly in the availability and higher price of the technology. With the current price of fossil fuels, the gas technology can only compete with the environmental friendliness, but, unfortunately, often the decisive factor for companies is the costs.</p>		
Keywords Natural gas, biogas, liquid gas, CNG, CBG, LNG, methane, alternative fuel, dual-fuel, gas, bus, truck		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto	3
2	Motiivit vaihtoehtoiselle liikennepolttoaineelle	3
3	Liikennepäästöt	4
3.1	Liikenteen pakokaasupäästöt Suomessa	4
3.2	Moottoreiden Euro-päästöluokat	5
4	Vaihtoehtoiset liikennepolttoaineet	6
4.1	Vety	6
4.2	Sähkö	7
4.3	Bioetanoli	8
4.4	Metaani	9
5	Taustatietoja biokaasusta	9
5.1	Biokaasu	9
5.2	Biokaasun käyttö liikenteessä	10
5.3	LNG ja CNG	10
5.4	Kuvaus kaasukäyttöisestä liikennekalustosta	11
5.5	LNG- Ja CNG-tankkausasemat	11
5.5.1	Paineistetun biokaasun (CNG) tankkausjärjestelmät	11
5.5.2	Nestemäisen biokaasun (LNG) tankkausjärjestelmät	12
6	Työn toteutus	13
7	Biokaasun ympäristöystävällisyys liikennepolttoaineena	14
7.1	TNO:n päästöttestaus	14
7.2	John Lewis Partnership -yrityksen tulokset	15
7.3	Sol Bus: tulokset	16
8	Taloudellisuus	17
8.1	Prins Autogassystemen B.V: kulutus ja päästöt dual-fuel- ja diesel-toiminnoissa	17
8.2	Gas Bus Alliance: biokaasulinja-autojen kustannussäästöt	19
8.3	Sol Bus: linja-autojen takaisinmaksuajat	19
8.4	MAN Truck & Bus: taloudellisuus ja käyttökokemukset	20
9	Kokemukset luotettavuudesta	21
10	Kokemukset käytettävyydestä	22

10.1	Kuljetuskalusto	22
10.2	Linja-autot	23
11	Tulokset ja niiden arviointi	23
12	Jatkotoimenpide-ehdotukset	25

Kuviot

Kuvio 1. Kaasu- ja hybridibussien takaisinmaksuajat.	20
---	----

Taulukot

Taulukko 1. Suomen tieliikenteen päästöjen muutokset vuosina 1980–2011.....	5
Taulukko 2. Dieselmootoreiden päästöluokat.	6
Taulukko 3. TNO:n päästötestin tulokset.....	15
Taulukko 4. Dieselblend-järjestelmän kulutus, päästöt ja kustannukset vuodessa, käytettäessä vain dieseliä.....	17
Taulukko 5. Dieselblend-järjestelmän kulutus, päästöt ja kustannukset vuodessa, käytettäessä dual-fuel-toimintoa.....	18

1 Johdanto

Opinnäytetyö on osa JAMK logistiikan vetämää useista tutkimuksista koostuvaa hanketta, jossa tutkitaan ei-fossiilisten polttoaineiden käyttöä liikenteessä. Hankkeen taustalla ovat ilmastonmuutoksesta johtuva halu löytää ympäristöystävällisempiä liikennepolttoaineita sekä Euroopan Unionin päästörajoitusohjelma. Opinnäytetyön kohteena olivat kaasua ja dual-fuel-käyttöiset linjat sekä kuorma-autot ja niiden käyttökokemukset, etenkin taloudellisuus, ympäristöystävällisyys, käytettävyyden ja luotettavuus.

Motivaationa opinnäytetyölle oli kasvavat liikennepäästöt etenkin hiilidioksidin osalta sekä Euroopan Unionin määrittelemät liikenteen päästörajoitukset. Biokaasu on yksi vaihtoehtoinen liikennepolttoaine, joka teoriassa on ympäristöystävällisempää kuin nykyiset fossiiliset polttoaineet ja siitä syystä yksi mahdollinen dieselin ja bensiinin korvaaja tulevaisuudessa. Ennen kuin kaasun käyttö polttoaineena yleistyy, on selvitettävä sen käyttöön liittyviä mahdollisia käytännön ongelmia. Näitä ongelmia ja käyttökokemuksia tämä opinnäytetyö pyrki kartoittamaan.

Tavoitteena oli tutkia kaasun käyttökokemuksia liikennepolttoaineena Euroopassa Suomen ulkopuolella eri yrityksissä. Pyrkimys oli saada kattava kuva eri yritysten käyttökokemuksista bio- ja maakaasusta linjat ja kuorma-autojen polttoaineena. Suunnitelmana oli kartoittaa jokaisen tietojen antaneen yrityksen kokemukset neljästä aiheesta: ympäristöystävällisyydestä, taloudellisuudesta, luotettavuudesta ja käytettävyydestä. Myös teknologian hinta ja takaisinmaksuajat olivat mielenkiinnon kohteina. Näitä tuloksia voitaisiin tulevaisuudessa käyttää hyödyksi kaasukäyttöisen kaluston hankkimista suunniteltaessa.

2 Motiivit vaihtoehtoiselle liikennepolttoaineelle

Fossiiliset polttoaineet ovat olleet ihmiskunnan teollisen kehityksen pohja ja perusta. Öljyllä ja maakaasulla toimivat niin teollisuuslaitokset kuin ajoneuvotkin, samoin kiinteistöjen lämmitys. Öljy ei tule riittämään ikuisesti, lisäksi fossiilisena polttoaineena

öljyn haittapuolena on kasvihuoneilmiön kiihtyminen. Voidaan kiistellä siitä, onko kasvihuoneilmiö ihmiskunnan aiheuttamaa vai ei, mutta nykyiset hiilidioksidi- ja muut kasvihuonekaasupäästöt eivät ainakaan auta tilanteessa. Vaihtoehtoisia, ympäristöystävällisempiä polttoaineita on löydettävä ennemmin tai myöhemmin ja erilaisia teknologioita onkin kehitetty.

Lähes jokainen kuljetusyritys ilmoittaa tavoitteekseen CO₂-päästöjen alentamisen tulevaisuudessa. Yksi mahdollinen toimenpide muiden joukossa on siirtyä käyttämään biokaasua polttoaineena. Teknologia on jo olemassa, se on verrattain edullista ja yksinkertaista ja sitä on testattu käytännössä. Diesel on kuitenkin ollut hallitseva polttoaine jo kymmeniä vuosia, eikä siirtymä vaihtoehtoiseen polttoaineeseen ole aina niin yksinkertainen, vaikka jokainen tietää tämän muutoksen olevan tulossa.

3 Liikennepäästöt

3.1 Liikenteen pakokaasupäästöt Suomessa

Suomessa öljyllä tuotetusta energiasta noin 40 % kuluu liikenteessä ja kaikesta tuotetusta energiasta liikenteen kulutus on noin viidennes. Liikenne on siis merkittävä energian kuluttaja ja kulutus on ollut kasvussa viime vuosina. Vaikka ajoneuvojen päästöt ovat pienentyneet 1970-luvulta lähtien, päästöjen pieneminen on hidastunut liikenteen määrän kasvusta johtuen. Edelleen yli puolet hiilimonoksidi- ja noin puolet hiilivety- ja typenoksidipäästöistä tulee liikenteestä. Ongelmana ovat erityisesti hiilidioksidipäästöt, joita ei ole saatu vähenemään siinä missä muita pakokaasupäästöjä. (Liikenteen energiankulutus ja pakokaasupäästöt 2014.)

Taulukossa 1 näkyvät Suomen tieliikenteen päästöjen muutokset vuosina 1980–2011. Teknologian kehityksen myötä lähes kaikkia päästölajeja on saatu pienennettyä huomattavasti, vain hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet.

Taulukko 1. Suomen tieliikenteen päästöjen muutokset vuosina 1980–2011. (Liikenteen energiankulutus ja pakokaasupäästöt 2014.)

Päästölaji	Suomen tieliikenteen vuotuiset päästöt, 1000 t/a						Muutos 1990– 2011, %
	1990	1995	2000	2005	2010	2011	
CO ₂	10 900	10 200	10 900	11 800	11 700	11 400	7,30 %
CO	470	391	333	244	177	166	-62,30 %
HC	68	55	42	29	20	19	-70,60 %
NO _x	134	106	78	57	43	41	-67,90 %
Hiukkaset	7,9	6,4	4,2	2,9	2,4	2,3	-69,6 %
SO ₂	5,3	1,8	0,2	0,1	0,1	0,1	-98,1 %

3.2 Moottoreiden Euro-päästöluokat

Sekä bensiini- että dieselmoottorit jaetaan niiden päästöjen mukaan Euro-päästöluokkiin. Ensimmäinen, Euro 1 -päästöluokka, esiteltiin jo vuonna 1992 ja Euro 2 -luokka 1999. Nykyisin Suomessa on käytössä Euro 5 -päästöluokka ja Euro 6:een ollaan siirtymässä syyskuussa 2014. Käytännössä tämä luokitus määrittelee uusien autojen päästörajat ja määrittelee enimmäisarvot kullekin säännellyn päästön lajille. Säänneltyjä päästöjä ovat häkä (CO), hiilivedyt (HC) ja typen oksidit (NO_x). Näiden lisäksi dieselmoottoireilla on säädelty myös pienhiukkaspäästöt (partikkelit). Moottoreiden enimmäisarvot määritellään auton kokoluokan mukaan diesel- ja bensiinimoottoreille erikseen. Taulukossa 2 on esitetty raskaiden dieselmoottoireiden päästörajat vakaan tilan testillä mitattuna.

Taulukko 2. Dieselmoottoreiden päästöluokat. (Emission Standards: Europe: Heavy-Duty Truck and Bus engines 9.2012.)

Luokka	CO	HC	NO _x	Partikkelit
	g/kWh			
Euro 1	4,5	1,1	8	0,61
Euro 2	4	1,1	7	0,25
Euro 3	2,1	0,66	5	0,1
Euro 4	1,5	0,46	3,5	0,02
Euro 5	1,5	0,46	2	0,02
Euro 6	1,5	0,13	0,4	0,01

4 Vaihtoehtoiset liikennepolttoaineet

Öljylle haetaan seuraajaa liikennepolttoaineeksi ja näitä mahdollisia seuraajia nimitetään vaihtoehtoisiksi liikennepolttoaineiksi. Eri vaihtoehtoja on useita erilaisia, mutta suurin osa karsiutuu saatavuuden, hinnan tai käyttöominaisuuksien takia pois. Realistisesti ajatellen öljy voidaan korvata kolmella eri vaihtoehdolla ajoneuvojen polttoaineena: sähköllä, biopolttoaineella, vedyllä tai näiden yhdistelmillä.

4.1 Vety

Vety on maailmankaikkeuden yleisin alkuaine, kemialliselta merkiltään H. Normaalissa ilmanpaineessa huoneenlämmössä vety esiintyy kaasuna, joka on väritöntä, hajutonta, mautonta ja ilmaa huomattavasti kevyempää.

Vetyä on mahdollisuus käyttää liikennepolttoaineena kahdella tekniikalla: polttokennoilla ja vetypolttomootoreissa. Vetypolttomootoriajoneuvot ovat harvinaisempia kuin polttokennoilla toimivat, vaikka niissä on sama moottoritekniikka kuin bensiinimoottorissa. (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 39.)

Toinen vaihtoehto on käyttää polttokennoja, joissa vety yhdistyy hapen kanssa tuottaen vettä, lämpöä ja sähköä. Vety on lupaava energialähde polttoaineeksi, siitä huolimatta, että sitä ei esiinny vapaana maapallolla. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että vety pitää erottaa toisesta yhdisteestä ja tämä vaatii energiaa. Vety on siis vain energian yksi säilytystapa. Haittapuolina vedyn käytössä on sen alhainen kiehumispiste, $-252,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, joten se tulee säilyttää paineistettuna. Lisäksi vety on hyvin räjähdysherkkää ja ilmaan vuotanut vety voi räjähtää pienestäkin kipinästä. Vedyn hyöty ei-fossiilisena polttoaineena on kyseenalainen, jos sen valmistamiseen on käytetty fossiilisista polttoaineista saatavaa energiaa. (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 39.)

4.2 Sähkö

Sähköä on käytetty autojen energialähteenä lähes heti sähkömoottorin keksimisen jälkeen 1830-luvulla. Sähköauto menetti kuitenkin pian suosiotaan polttomoottorin kehittyessä ja yleistyessä ja 1930-luvun loppuun mennessä sähköautojen tuotanto oli käytännössä loppunut kokonaan. Kiinnostus sähköautoihin kasvoi jälleen 1980-luvulla, jolloin Yhdysvalloissa alettiin tukea sähköautoja verohelpotuksin. (Bellis n.d.) Pelkällä sähköllä toimivissa autoissa on kuitenkin erilaisia ongelmia ja nykyisin huomattavasti yleisempiä ovatkin hybridiautot, joissa on sähkömoottorin lisäksi polttomoottori.

Puhtaat sähköhenkilöautot ovat huomattavasti kalliimpia kuin tavalliset bensa- tai dieselkäyttöiset autot, hinta voi useasti olla moninkertainen johtuen akkuteknologian kalleudesta. Myös akkujen kapasiteetti on edelleen hyvin rajallinen, vaikka edistystä tälläkin saralla on tapahtunut viime vuosikymmeninä. Ongelmana edelleen on se, että akkuja ei ole mahdollista ladata kesken matkan, paitsi korkeintaan jarrutuksesta saatavalla energialla, joten jos autosta loppuu virta kesken ajon, pitää auto hinata lähimmälle latauspisteelle. Myös toimintasäde on huomattavasti muuta teknologiaa käyttäviä autoja pienempi, etenkin talvisin alhaisissa lämpötiloissa.

Hybridiautossa on sähkömoottorin lisäksi polttomoottori, joka käyttää polttoainetta normaalisti bensiiniä tai dieseliä. Polttomoottorilla joko ladataan akkuja tai se

toimii pääasiallisena voimanlähteenä nopeuden ylittäessä tietyn rajan, jolloin sähkömoottori toimii vain pienillä nopeuksilla. Etenkin kaupunkiliikenteen jatkuvista pysähdyksistä ja pienistä nopeuksista johtuen tämä järjestelmä on usein toimiva. Hybridiautot käyttävät myös kalliita akkuja sähkövaraukseen, joten autojen kokonaishinta on tavallista autoa korkeampi. Polttomoottoria käytettäessä hybridiauto ei ole tavallista bensakäyttöistä autoa ympäristöystävällisempi, lisäksi akut ladataan normaalilla sähköverkkosähköllä, jolloin auton hiilidioksidipäästöt ovat laskennallisesti noin 20 g/km. Myös akkutekniikka on ongelmallista, sillä akut ovat raskaita, kalliita ja niissä käytetään vaarallisia aineita, joten akkujen hävitys on haastavaa. (Nylund, Hulkkonen & Pyrrö 2006, 36.)

4.3 Bioetanoli

Bioetanoli on uusiutuvaa polttoaineeksi soveltuvaa etanolia, jota voidaan käyttää bensiinin seassa autojen polttoaineena. Bioetanolia valmistetaan mistä tahansa käymiskelpoisesta eloperäisestä aineesta, esimerkiksi ruoantähteistä tai viljelykasveista kuten vehnästä, ohrasta, sokerijuurikkaasta ja sokeriruo'osta. Bioetanolin käytön lisääntyessä myös sen kysyntä kasvaa ja tämä voi johtaa siihen, että ruokakasveista kannattaa tehdä bioetanolia ravintokäytön sijaan. Lisäksi jos näitä kasveja varten raivataan uutta viljelystilaa kaatamalla metsiä, on bioetanolin ympäristöystävällisyys kyseenalaista.

Yleensä etanolipitoisuus vaihtelee 0 % - 85 %:n välillä. Etanolia lisäämällä saadaan hiilidioksidipäästöjä pienemmiksi pelkkään bensiinin käyttöön verrattuna. Autoihin pitää kuitenkin asentaa Flex-fuel-järjestelmä, joka tunnistaa etanolipitoisuuden ja säätelee moottorin asetuksia, kuten sytytyksen ajoitusta. Ongelmaksi voi muodostua etanolille sopimattomat materiaalit moottorissa ja polttoainejärjestelmässä sekä päästötasot. Flex-fuel-järjestelmä on huomattavasti edullisempi kuin dual-fuel-järjestelmät, noin 500 euroa. (Laurikko & Nylund 2011, 23.)

4.4 Metaani

Liikennepolttoaineena käytettyjen kaasujen pääkomponentti on metaani, CH₄. Seuraavassa luvussa käydään läpi kaasun käyttöä liikennepolttoaineena sekä sen ominaisuuksia.

5 Taustatietoja biokaasusta

5.1 Biokaasu

Biokaasulla tarkoitetaan uusiutuvaa biopolttoainetta, kaasuseosta, joka koostuu metaanista (CH₄), hiilidioksidista (CO₂) sekä muista, muun muassa rikkiyhdisteistä. Tavallisesti metaanin osuus kaasusta on noin 40 % - 70 % ja hiilidioksidin 30 % - 60 %. Lisäksi biokaasussa on pieni määrä muita yhdisteitä. Biokaasua käytetään lämmön- ja sähköntuotantoon sekä jalostettuna ajoneuvojen polttoaineena. (Biokaasu n.d.)

Jalostettu biokaasu ei juurikaan eroa jalostetusta maakaasusta kemiallisesti sillä molemmissa kaasuissa on pääkomponenttina metaani ja tästä syystä niitä molempia voidaan käyttää samoissa kohteissa ja niitä voidaan myös sekoittaa keskenään. Merkittävin ero on se, että maakaasu on fossiilinen polttoaine ja lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta kun taas biokaasu uusiutuvana on hiilidioksidineutraalia. (Biokaasu n.d.) Tässä työssä en erittele maa- ja biokaasun käyttöä vaan puhun pelkästään biokaasusta. Huomioitavaa kuitenkin on, että biokaasu on hieman maakaasua kalliimpaa. Bio- ja maakaasu myydään kuluttajalle kiloina, kun taas bensiini ja diesel myydään litroina. Tästä syystä hinnat eivät ole suoraan verrannollisia. Yksi kilo maakaasua vastaa energialtaan 1,56 litraa bensiiniä ja 1,39 litraa dieseliä, ja maksaa 1,405 €/kg. Biokaasun kilohinta on 1,505 €/kg. Tästä voidaan laskea vertailuhinnat eri polttoaineiden hintavertailua varten. Vertailuhinnat bensiiniin Gasumin mukaan ovat biokaasulla 0,963 €/litra ja maakaasulla 0,899 €/litra. (Liikennekaasun hinta tankkausasemilla n.d.)

5.2 Biokaasun käyttö liikenteessä

Jalostettua biokaasua voidaan käyttää sellaisenaan liikennepolttoaineena tai sekoitettuna dieselin kanssa dual-fuel-ajoneuvoissa. Dual-fuelilla tarkoitetaan polttoainejärjestelmää tai ajoneuvoa, joka pystyy käyttämään dieselin tai bensiinin rinnalla toista polttoainetta. Jalostuksessa poistetaan biokaasusta hiilidioksidi ja epäpuhtaudet, kaatopaikkakaasusta myös typpi. Tämän jälkeen biokaasua voidaan käyttää joko paineistettuna (CNG, Compressed Natural Gas) tai nesteytettynä (LNG, Liquefied Natural Gas). Koska metaanin jäätymispiste on hyvin alhainen ($-182\text{ }^{\circ}\text{C}$), biokaasua voidaan käyttää talvella ääriolosuhteissa, eli lämpötiloissa, joissa tavallinen dieselpolttoaine jähmettyy tai jäätyy. (Biokaasu n.d.)

Kun biokaasusta palaa täydellisesti, palamistuotteina syntyy hiilidioksidia ja vesihöyryä. Biokaasun polttaminen ehkäisee kasvihuoneilmiötä koska palamisreaktiossa voimakas kasvihuonekaasu metaani muuttuu vähemmän haitalliseksi hiilidioksidiksi. Epätäydellisessä palamisessa syntyy jonkin verran häkää ja kevyitä orgaanisia yhdisteitä, mutta ei ollenkaan aromaattisia yhdisteitä, joita syntyy bensiinin ja dieselin pollaessa. Näistä syistä biokaasu on huomattavasti ympäristöystävällisempää kuin fossiiliset polttoaineet. (Usein kysytyt kysymykset 2011.)

5.3 LNG ja CNG

LNG on nimensä mukaisesti nesteytettyä maakaasua, joka on jäähdytetty $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteeseen. Tällöin sen tilavuus on vain yksi kuudessadas osa kaasun tilavuudesta. LNG on hajuton, mauton ja myrkytön kaasu, joka ei aiheuta korroosiota eikä se ole syövyttävää. (Nesteytetty maakaasu LNG n.d.)

CNG on täysin vastaavaa kuin LNG, mutta se on edelleen kaasumuodossa ja tankatessa se paineistetaan noin 200 barin paineeseen (Liikennekaasu CNG n.d.). Nesteytetty kaasu vaatii tiheämmän tankkausvälin johtuen kaasun pienemmästä energiatiheydestä nesteeseen verrattuna, mutta tekniikka on vastaavasti yksinkertaisempaa, koska nesteytetty kaasu vaatii alemman lämpötilan sekä erilaisia paineen tasausjärjestelmiä.

5.4 Kuvaus kaasukäyttöisestä liikennekalustosta

Dual-fuel-ajoneuvoilla tarkoitetaan siis dieselmoottorilla varustettuja ajoneuvoja, jotka toimivat biokaasulla sekä dieselpolttoaineella. Biokaasua käytettäessä moottorin sytytys tapahtuu nestemäisellä dieselpolttoaineella (esim. biodiesel). Tällöin molempia polttoaineita käytetään yhdessä, jolloin autoissa 70 % – 90 % ja laivoissa jopa 99 % energiasta tulee biokaasusta. (Usein kysytyt kysymykset 2011.)

Dual-fuel-ajoneuvot voidaan jakaa karkeasti kahteen luokkaan: LNG- ja CNG-ajoneuvoihin. Nestemäistä kaasua (LNG) käyttävät ajoneuvot vaativat erilaista tekniikkaa, sillä niissä biokaasu varastoidaan nestemäisenä ($-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ astetta normaali-ilmanpaineessa). Etuina on kolminkertainen tiheys paineistettuun metaaniin ja 600-kertainen paineistamattomaan metaanikaasuun verrattuna ja täten moninkertainen tankkausväli samalla polttoainetankin tilavuudella. Haittoina on tuo edellä mainittu kylmälaitetekniikkaa vaativa rakenne ajoneuvoissa. (Usein kysytyt kysymykset 2014.)

Nestemäistä biokaasua käytetään useasti raskaissa ajoneuvoissa kuten laivoissa, veneissä, rekoissa, busseissa sekä lentokoneissa. Henkilö- ja pakettiautoissa LNG:n käyttö on harvinaisempaa ja niissä yleensä käytetään ainoastaan paineistettua kaasua (CNG). (Usein kysytyt kysymykset 2011.)

5.5 LNG- Ja CNG-tankkausasemat

5.5.1 Paineistetun biokaasun (CNG) tankkausjärjestelmät

Paineistetun biokaasun (CNG) tankkausjärjestelmiä on kaksi erilaista: nopeatankkaus- ja hidastankkausjärjestelmä. Tavallisilla huoltoasemilla ja kylmäasemilla käytetään nopeatankkausjärjestelmiä, joissa kaasu tulee korkeapaineisesta varastosäiliöstä. Tankkaus kestää suunnilleen saman ajan kuin bensiinin tankkaus eli muutamia minuutteja. Kesto riippuu huoltoaseman varastotankkien paineesta, eli mitä korkeampi paine, sen nopeampi tankkaus. Biokaasun tankkaus on bensiinin ja dieselöljyn tank-

kausta helpompaa, koska tankkauspistoolista ei tarvitse pitää kiinni. Tankkausliittimet ovat ilmatiiviit sekä lukittuvat, joten kaasua ei pääse vuotamaan ilmaan eikä tankkaajan tarvitse haistella myrkyllisiä höyryjä tankatessaan. (Usein kysytyt kysymykset 2011.)

Hidastankkausasemia käytetään bussien, jäteautojen ja kaupungin ajoneuvojen varikoilla sekä yksityiskotien autotalleissa. Hidastankkaus on sopiva tapa yön ajan paikoituksessa olevia ajoneuvoja varten, sillä se kestää useita tunteja. Hidastankkauksessa kaasu kompressoidaan tankkauksen aikana ja se on paljon halvempi järjestelmä, koska varastotankkeja ei ole lainkaan. (Usein kysytyt kysymykset 2011.)

Suomessa on tällä hetkellä noin 20 kaasuautojen CNG-tankkausasemaa, pääosin Lahden eteläpuolella ja pääkaupunkiseudulla. Toistaiseksi asemat seuraavat maakaasuverkostoa jakelullisista syistä, mutta biokaasu mahdollistaa yksittäiset tankkausasemat, jotka eivät ole riippuvaisia kaasuverkostosta. EU-komission tammikuussa 2013 esittelemän puhtaiden polttoaineiden strategian mukaan Eurooppaan pyritään rakentamaan kattava vaihtoehtoisten polttoaineiden tankkausasemaverkosto vuoteen 2020 mennessä. Käytännössä tämä tarkoittaisi asemien rakentamista noin 150 kilometrin etäisyydelle toisistaan. (Tankkausasemat n.d.)

5.5.2 Nestemäisen biokaasun (LNG) tankkausjärjestelmät

Nesteytetyn biokaasun (LNG) tankkaus vastaa tavanomaisten nestemäisten polttoaineiden tankkausta ja se on aina nopeatankkausta. Tankkausletku on lämpöeristyksen takia kuitenkin huomattavasti paksumpi ja se lukittuu autoon tankkauksen aikana ilmatiiviisti vuotojen estämiseksi. (Usein kysytyt kysymykset 2011.)

Vuoden 2013 alussa koko EU:n alueella oli vasta 38 maantieliikenteen LNG-tankkausasemaa, mutta EU:n polttoainestrategian myötä määrä tulee kasvamaan huomattavasti samoin kuin CNG-asemien lukumäärä. Tavoitteena on, että vuoteen 2020 mennessä Euroopan ydinverkkoon kuuluvien teiden varsilla olisi LNG-asema 400 kilometrin välein. LNG-asemien rakentamista rajoittaa muun muassa niiden kalliimpi hinta

verrattuna CNG-asemiin, sillä nestemäisen kaasun tankkausaseman rakennuskustannukset ovat noin 2 miljoonaa euroa siinä missä paineistetun kaasun aseman kustannukset ovat noin kymmenesosa tästä, 200 000 euroa. (LNG raskas maantieliikenne n.d.)

6 Työn toteutus

Pohjana oleva aineisto kerätty on kokonaisuudessaan Amsterdamissa NGV2013-konferenssissa esitettyjen PowerPoint-esityksistä. Esitykset löytyvät konferenssin internet-sivuilta salasanalla suojatusta osiosta, johon opinnäytetyöntekijällä on pääsy. Esitysten tekijöiltä on saatu lupa tietojen käyttöön opinnäytetyössä. Konferenssissa tuloksista kertoivat useat eurooppalaiset yritykset, joista osa on kuljetusyrityksiä ja osa valmistaa kaasuteknologian tuotteita ajoneuvoihin. Materiaalista saa hyvän yleiskuvan biokaasun käytöstä liikennepolttoaineena sekä sen eduista. Opinnäytetyön tavoite, joka oli saada kattava kuva kunkin yrityksen tuloksista biokaasun ympäristöystävällisyyden, taloudellisuuden, luotettavuuden sekä käytettävyyden osalta, ei toteutunut.

Lisätietoa ja tarkennuksia yritettiin hankkia sähköpostihaastatteluilla, mutta yksikään yritys ei vastannut haastattelupyyntöihin. Tästä johtuen opinnäytetyön pohjamateriaali on melko rajoitettua, mutta kuitenkin suuntaa antavaa biokaasun kokemuksista Euroopassa. Materiaalin rajoittuneisuus rajaa samalla koko työtä ja kyseessä onkin pöytälaatikkotutkimus.

7 Biokaasun ympäristöystävällisyys liikennepolttoaineena

7.1 TNO:n päästötestaus

TNO on kansainvälinen, riippumaton organisaatio, jonka pääkonttori on Hollannissa ja sivukonttoreita muun muassa Qatarissa ja Karibialla. TNO toimii yhteistyössä hallitusten, pienten ja keskisuurten yritysten, palveluntarjoajien sekä yksityisten järjestöjen kanssa. Yritys tarjoaa konsultointia sekä teknistä tutkimusta ja tuotekehitystä eri tekniikan aloilla.

TNO testasi laboratoriossaan Prins Autogassystemenin toimittamaa dual-fuel-mootoria ESC- ja ETC-testeillä ja mittasi järjestelmän päästöt erilaisilla rasitusasteilla. ESC-testi (European Stationary Cycle) sisältää 13 eri vaihetta, joissa jokaisessa on määrätty moottorin suhteellinen kierrosnopeus ja rasite. Testissä mitatut päästöarvot painotetaan lopputulosta laskiessa tietyillä painotuskertoimilla ja näin saadaan moottorin kokonaispäästölukemat.

ETC-testi (European Transient Cycle) koostuu kolmesta osasta, joista jokainen kestää 600 sekuntia. Ensimmäinen osa simuloi kaupunkiajoa, sisältäen useita kiihdytyksiä, pysähdyksiä sekä tyhjäkäyntiä. Toisen osa simuloi maantieajoa, keskinopeuden ollessa noin 72 km/h, ja testiin kuuluu nopeaa kiihdytystä jäljittelevä osio. Kolmas osa kuvastaa maantieajoa tasaisella 88 kilometrin tuntinopeudella.

Taulukossa 3 on esitetty testien tulokset päästöjen osalta. Tulokset ovat yksikössä g/kWh.

Taulukko 3. TNO:n päästötestin tulokset. (van Beuningen 2011.)

	ESC			ETC		
	g/kWh					
	Diesel	Dual Fuel	EURO V Limit	Diesel	Dual Fuel	EURO V Limit
NO _x	2,25	1,88	2	2,43	1,99	2
CO	0,16	1,26	1,5	0,25	1,23	4
CH ₄	-	-	-	-	1,18	1,1
CO ₂	683,6	650,46	-	688,4	663,7	-
PM	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04	0,03
NMHC	-	-	-	0,02	0,35	0,55
THC	0,02	1,5	0,46	-	1,53	-

Testeistä on nähtävissä, että ETC-testi eli se, jossa simuloidaan todellista ajoa moottorin rasiustestien sijaan, aiheuttaa enemmän päästöjä kuin vakiokuorma- ja -rasite-testi, ESC. Typen oksidien, NO_x, päästöt ylittävät dieseliä käytettäessä Euro 5 -päästörajat (katso taulukko 2 luvusta 3.2). Sekä dieseliä että dual-fuelia käytettäessä pienhiukkaspäästöt, PM, ylittävät myös Euro 5 -päästörajat. Hiilimonoksidin eli hä'än, CO, päästöt kasvavat kaasua käytettäessä, mikä johtuu epäpuhtaasta palamisesta. Tästä syystä myös hiilivetyjen kokonaispäästöt, THC, kasvavat. Muut päästöt kuitenkin laskevat tai pysyvät ennallaan, etenkin hiilidioksidipäästöt, CO₂, laskevat. NMHC tarkoittaa VOC- eli haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästöjä. Jos hiilimonoksidipäästöjä ei oteta huomioon, dual-fuel-systeemi alittaa Euro 5 -päästörajat, mutta pelkkää dieseliä käytettäessä moottori ei täytä Euro 5 -päästöluokan vaatimuksia. Testeissä ei lisäksi havaittu merkittäviä muutoksia moottorin voimantuotossa dieselpolttoaineen ja CNG-järjestelmän välillä. Tehohäviötä kaasua käytettäessä on havaittu muutamissa järjestelmissä.

7.2 John Lewis Partnership -yrityksen tulokset

John Lewis Partnership on Iso-Britanniassa toimiva kaupan alan suuryritys, jolla on noin 340 kauppa, 85 000 yhteistyökumppania sekä 2 700 kaupallista ajoneuvoa. Yksi

yrittäjien tulevaisuuden tavoitteista on vähentää hiilen oksidipäästöjä kuljetuksissa usealla kymmenellä prosentilla. Biopolttoaineet, etenkin biodiesel ja biokaasu, ovat yksi heidän tutkimansa menetelmä päästövähennyksiin. Syitä biokaasun käyttöön dieselin rinnalla on useita, tärkeimpänä mahdollisuus muuttaa jo hankittu kalusto käyttämään uutta polttoainetta verrattain edullisesti, sekä biokaasuverkoston levinyisyys Iso-Britanniassa. Lisäksi, jos kaasun tankkausasemaa ei ole lähettyvillä kaasun loppuessa polttoainetankeista, dual-fuel-järjestelmä mahdollistaa myös pelkän dieselin käyttämisen ajoneuvon energialähteenä. John Lewis on päättänyt käyttämään nesteytettyä biokaasua kuljetuskalustossaan, koska sitä voidaan varastoida tehokkaasti ja nesteinä biokaasu vie huomattavasti vähemmän tilaa kuin kaasuna. Lisäksi yritys uskoo biokaasun tulevaisuuden olevan nestemäisessä olomuodossa, ainakin kuljetuskalustolle. (Laney 2013.)

John Lewis -yritys on korvannut dieselpolttoainetta 35 % - 55 % biokaasulla ja mitannut kuorma-autojen moottoreiden tehojen muuttumista. Tulokset vakuuttavat, sillä moottoreiden tehot ovat pudonneet vain 3 % - 13 %. Uusimman käytössä olevan dual-fuel-järjestelmän dieselin korvausprosentti on ollut 37 ja tehojen putoaminen 5 %. Polttoainekustannuksissa on säästetty 10 % ja hiilidioksidipäästöt ovat vähentyneet 34 % mainitulla biokaasu-diesel-suhteella. (Laney 2013.)

7.3 Sol Bus: tulokset

Sol Bus on vuonna 2001 perustettu puolalainen linja-autojen valmistaja. Sol Bus valmistaa ja varustaa linja-autot kokonaan itse, aina peltiprofiilien leikkauksesta sisustuksen viimeistelyyn. Vuonna 2005 Sol Bus valmisti 20 % Puolan uusista linja-autoista, ja tällä hetkellä tuotanto on noin 100–150 linja-autoa vuodessa.

Sol Busin käytännön mittauksissa on havaittu, että käyttämällä nesteytettyä biokaasua, polttoainekulutus on jopa 12 % pienempi kuin Euro 5 -päästörajoja noudattavien dieselmootoreiden kulutus samoilla reiteillä. Ottaen huomioon biokaasun halvemman hinnan, ovat säästöt huomattavat. Linja-autojen kuljettajat ovat huomauttaneet

biokaasubussien olevan ”laiskempia” kiihtymään kuin dieselbussit. Julkisissa kuluneuvoissa kaupunkiliikenteessä tätä ei kuitenkaan ole nähty niinkään ongelmana kuin tottumiskysymyksenä. (Slizak 2013.)

8 Taloudellisuus

8.1 Prins Autogassystemen B.V: kulutus ja päästöt dual-fuel- ja diesel-toiminnoissa

Prins Autogassystemen on kansainvälinen vaihtoehtoisten polttoainejärjestelmien valmistaja ja yksi markkinajohtajista jo 25 vuoden ajan. Yritys tekee yhteistyötä useiden muiden yritysten kanssa, näistä esimerkkeinä Bosch ja Continental. Prins on kehittänyt muun muassa oman dual-fuel-järjestelmän nimeltään Prins Dieselblend.

TNO:n testissä (katso luku 7.1) käytetylle Prins Autogassystemenin dual-fuel-järjestelmälle valmistaja on antanut kahdessa seuraavassa taulukossa näkyvän laskelman polttoaineen kulutuksesta. Taulukossa 4 näkyvät laskelmat pelkkää dieselpolttoainetta käytettäessä ja taulukossa 5 dual-fuel-systeemiä käytettäessä.

Taulukko 4. Dieselblend-järjestelmän kulutus, päästöt ja kustannukset vuodessa, käytettäessä vain dieseliä. (van Sambeek n.d.)

Kilometrejä/vuosi	120 000 kilometriä
Dieselin kulutus/100 km	30 litraa
Dieselin kulutus/vuosi	36 000 litraa
Dieselin hinta	1,15 €/litra
Polttoainekustannukset/vuosi	41 400,00 €
CO₂-päästöt/vuosi	97,2 tonnia

Taulukko 5. Dieselblend-järjestelmän kulutus, päästöt ja kustannukset vuodessa, käytettäessä dual-fuel-toimintoa. (van Sambeek n.d.)

Kilometrejä/vuosi	120 000 kilometriä
Dieselin kulutus/100 km	19,5 litraa
Dieselin kulutus/vuosi	23 400 litraa
Dieselin hinta	1,15 €/litra
CNG kulutus/100 km	9,9 kg/100 km
CNG kulutus/vuosi	11 893 kg/vuosi
CNG hinta	0,82 €/kg
Dieselin polttoainekustannukset/vuosi	26 910,00 €
CNG:n polttoainekustannukset/vuosi	9 752,00 €
Polttoainekustannukset yhteensä	36 662,00 €
Dieselin CO ₂ -päästöt/vuosi	63,2 tonnia
CNG:n CO ₂ -päästöt/vuosi	25,9 tonnia
CO₂-päästöt yhteensä/vuosi	89,1 tonnia

Mittauksissa auton kulutuksesta on biokaasua ollut keskimäärin 35 % ja dieseliä 65 %. Dieselin kulutus tippuu tällöin 19,5 litraan 100 kilometrillä ja kaasun kulutus on vastaavasti 9,9 kg/100 km. Diesel- ja biokaasupolttoaineen kulutusta on vaikea verrata suoraan, sillä niitä mitataan eri yksiköillä, dieseliä litroissa ja biokaasua kiloissa. Kuitenkin selvästi nähdään, että biokaasun edullinen hinta pienentää polttoainekustannuksia. Säästöjä syntyy noin 4 750 €/vuosi, jos kaasun hinnaksi oletetaan 0,82 €/kg ja dieselin hinnaksi 1,15 €/litra.

Myös hiilidioksidipäästöt pienenevät, sillä poltettaessa 12 600 litraa dieseliä, mikä on siis biokaasulla korvattu määrä vuodessa, syntyy CO₂-päästöjä 34 tonnia. Kun tuo 12 600 diesellittraa korvataan noin 12 000 kilogrammalla biokaasua, syntyy 25,9 tonnia hiilidioksidia. Mittauksissa siis dieseliä vastaavan biokaasun hiilidioksidipäästöt ovat 8,1 tonnia pienemmät. Nämä mittaustulokset on saavutettu laboratorio-olosuhteissa, mutta ne osoittavat dual-fuel-järjestelmän edut ympäristöystävällisyydessä ja polttoainekustannussäästöissä.

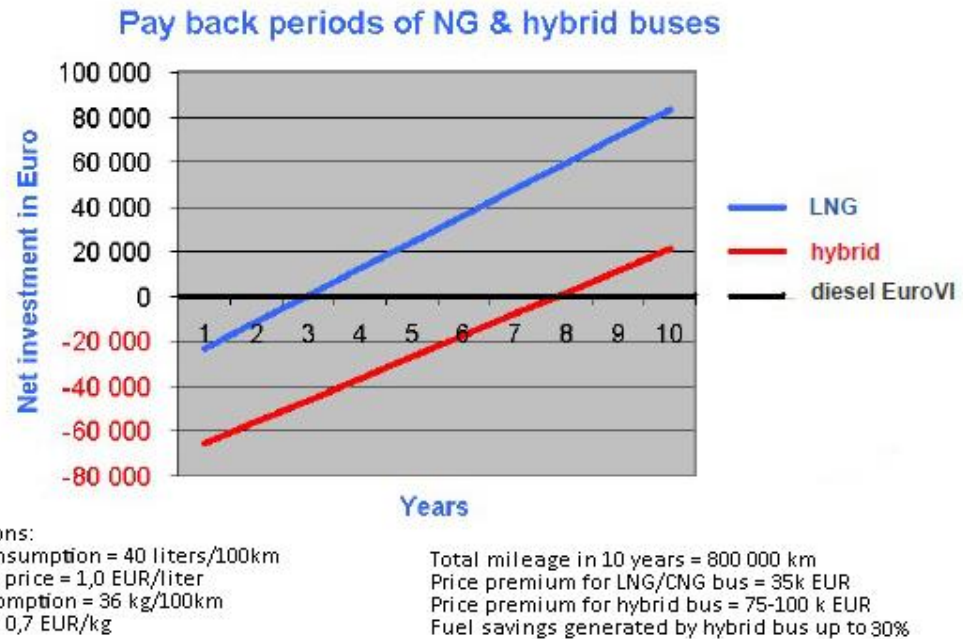
8.2 Gas Bus Alliance: biokaasulinja-autojen kustannussäästöt

Gas Bus Alliance on osa Gas Alliancea, joka tuottaa biokaasua anaerobisella käyttämällä. Yritys toimii Britanniassa. Kaasun raaka-aineena toimii pääasiassa lanta ja hukkaan heitetty ravinto (yhteensä 80 %) sekä teurasjäte ja hukkavilja (yhteensä 20 %). Tuotetun biokaasun vaikutus ilmakehään on hiilidioksidinegatiivista, eli se vähentää CO₂-pitoisuutta ilmassa. Kaasu puhdistetaan ja syötetään kansalliseen kaasuverkkoon, josta loppukäyttäjät voivat tankata sitä tankkausasemilla. Tuotannon kapasiteetti on 2 000 kilogrammaa tunnissa ja yksi kaasubussi kuluttaa biokaasua 100 kilogrammaa vuorokaudessa. (Griffiths 2013.)

Kustannussäästöt dual-fuel-busseissa Euro 5 -dieselbusseihin verrattuna ovat 15 600 €-24 000 € per bussi per vuosi ja investoinnin takaisinmaksuaika on kahden ja neljän vuoden välillä. Muuan muassa MAN ja Scania ovat kiinnostuneet dual-fuel-busseista ja astuneet markkinoille. (Griffiths 2013)

8.3 Sol Bus: linja-autojen takaisinmaksuajat

Sol Bus on toimittanut useita LNG-linja-autoja Puolassa eri linja-autoyhtiöille. Varsovassa näitä autoja on 35 kappaletta käytössä ja Olsztynissä 11. Kuviossa 1 on esitetty sekä LNG- että hybridi-bussien investointien takaisinmaksuaikoja.



Kuvio 1. Kaasu- ja hybridibussien takaisinmaksuajat. (Slizak 2013.)

Hybridi-bussilla on selvästi suuremmat käyttöönottokustannukset ja sen takaisinmaksuaika on pidempi, johtuen monipuolisemmasta tekniikasta (sekä diesel- että kaasu-järjestelmä). Hyvänä puolena on se, että vanhoja dieselkäyttöisiä autoja voidaan muuttaa käyttämään biokaasua dieselin ohella.

8.4 MAN Truck & Bus: taloudellisuus ja käyttökokemukset

MAN Truck & Bus on osa MAN-ryhmää ja yksikkö valmistaa hyötyajoneuvoja kansainvälisille markkinoille. Yksiköllä on tehtaita neljässä Euroopan maassa sekä Etelä-Afrikassa että Intiassa. Ajoneuvovalikoimaan kuuluvat kuorma-autot, linja-autot sekä diesel- ja kaasumoottorit.

MAN on tutkinut nesteytetyn biokaasun käyttöä polttoaineena Lion's City -linja-autossaan. Investointikustannukset dieseliin verrattuna ovat 19 % suuremmat, mutta polttoainekustannukset vastaavasti edullisemmat. Kymmenessä vuodessa säästöjä tulee noin 150 000 euroa, olettaen vuosittaisen ajomatkan olevan 60 000 kilometriä käyttäen dieseliä ja biokaasua 50/50 suhteessa. Dieselin litrahinnaksi on laskelmassa

määritetty 1,40 €/litra ja biokaasun 1,00 €/kilo. Kaasujärjestelmän ylläpitokustannukset ovat nykyisellään noin 8,5 % korkeammat kuin dieselmoottorin, johtuen korkeammista korjauskuluista.

Kuluista huolimatta MAN näkee biokaasun olevan hyvä ratkaisu julkisen liikenteen polttoaineeksi. Teknologia on jo saatavilla ja se on testattu ja todettu toimivaksi ja luotettavaksi. CO₂-päästöt ovat kokonaisuudessaan pienimmät, kun otetaan huomioon polttoaineen tuottamisesta ja kuljettamisesta jakelupaikalle aiheutuvat päästöt. Pienet polttoainepäästöt sopivat kaupunkien keskustoihin, samoin kuin kaasumoottorin alhaisempi melutaso. Biokaasua voidaan tehdä talousjätteistä sekä lannasta ja teurasjätteistä, joten se ei ole poissa ruokatuotannosta. (Staimer 2013.)

9 Kokemukset luotettavuudesta

Testiohjelmissa ei ole esiintynyt ongelmia luotettavuuden kanssa käytettäessä biokaasua polttoaineena. Puolalainen Sol Bus on testannut nestemäisellä biokaasulla toimivia busseja eri puolella Puolaa vuodesta 2010 lähtien. LNG:llä toimivat linja-autot ovat olleet käytössä kaupunkireiteillä useiden kuukausien ajan ja autoilla on ajettu yli 100 000 kilometriä eri sääolosuhteissa. Autoissa ei ole havaittu ongelmia LNG:n käytöstä johtuen. Lisäksi Sol Bus ja kaasutoimittaja Gazprom tekivät yhdessä promootiokiertueen kuudessa eri kaupungissa Puolassa. Nestemäistä biokaasua käytävällä linja-autolla ajettiin ympäri Puolaa markkinoiden LNG:n kaupallista käyttöä. Linja-auto tankattiin liikkuvasta tankkausasemasta joka liikkui bussin mukana kiertueella. Samalla mitattiin auton polttoaineen kulutus ja saatiin luotettavaa dataa käytännön olosuhteista ja tämä data vahvisti käsitystä biokaasun toimivuudesta vaihtoehtoisena polttoaineena dieselille. (Slizak 2013.)

10 Kokemukset käytettävyydestä

10.1 Kuljetuskalusto

Vos Logistics on vuonna 1944 perustettu hollantilainen kuljetusyritys. Yrityksellä on toimipaikkoja 30 kappaletta eri puolilla Eurooppaa ja yritys työllistää noin 2000 työntekijää. Heillä on käytössä noin 1500 Euro 4 ja 5 -luokan autoa. Myös Vos Logisticsin tavoitteena on vähentää sekä CO₂-päästöjä että riippuvuutta fossiilisista polttoaineista tulevaisuudessa. Yhtenä keinona tähän he näkevät nesteytetyn biokaasun käytön polttoaineena sekä dual-fuel-järjestelmät. (Timmermans 2013.)

Syyt LNG:n käyttöön verrattuna muihin vaihtoehtoihin polttoaineisiin (CNG ja sähkö) ovat pienemmät päästöt, toimintasäde, hinta sekä LNG-autojen pääsy kaupunkien keskustoihin. Raskaita kuorma-autoja ei välttämättä aina päästetä kaupunkien keskustoihin melusta ja päästöistä johtuen, mutta biokaasulla toimivat autot ovat hiljaisempia kuin perinteiset dieselmoottorilla toimivat. (Timmermans 2013.)

Käytännön testien aikana löytyi useita, toistaiseksi avoimia kysymyksiä ja käytännön ongelmia. Mikään järjestelmä ei ole täysin eristetty, niinpä autojen polttoainetankit vastaanottavat lämpöä ympäristöstä ja nestekaasun lämpötila pääsee nousemaan hieman kiehumispisteen yläpuolelle. Polttoaine muuttuu kaasuksi ja vuotaa ympäristöön aiheuttaen polttoainehävikkiä. Toinen tekninen ongelma on tankin muuttuva paine eri täyttöasteilla. Täynnä olevassa tankissa on suurempi paine kuin lähes tyhjässä ja tämä voi aiheuttaa toimintahäiriöitä moottorille. (Timmermans 2013.)

Vaikka polttoaineen kulutus on pienempi, 27 kg nestekaasua 100 kilometriä kohden verrattuna 32 kg dieseliä 100 kilometriä kohden, on moottoreiden tehohäviöstä johtuen autojen hyötykuormat pienempiä kuin dieseliä käytettäessä. Dieselmoottoreille löytyy myös osaavia huoltoliikkeitä ja varaosia helpommin kuin uutta dual-fuel-tekniikkaa käyttäville autoille. Myös kaasuautojen korkeampi hankintahinta arveluttaa, sillä takaisinmaksuaika on Vos Logisticsin mukaan 5-7 vuotta. Lisäksi LNG-jakeluasemien verkosto Euroopassa on toistaiseksi hyvin suppea. (Timmermans 2013.)

10.2 Linja-autot

Sol Bus on testannut LNG:llä toimivia linja-autoja ja todennut, että LNG:n etuja CNG:hen verrattuna ovat lyhyt tankkausaika, jolloin tunnissa voidaan tankata 10–12 linja-autoa yhdestä tankkauspisteestä. Tämä ei eroa nopeudessa dieselin tankkauksesta, joten busseja voidaan operoida varikolla samaan tapaan kuin dieseliä käyttäviä linja-autoja. LNG:n puolesta puhuu myös pienemmät ja kevyemmät polttoainetankit, jotka voidaan sijoittaa auton alaosaan näin alentaen auton massakeskipistettä. Tällä tavoin linja-auto ei tarvitse ylimääräistä tasapainotustekniikkaa ja silti auton ohjattavuus säilyy. LNG-bussit ovat myös samankokoisia kuin dieseliä käyttävät autot, joten niillä voidaan käyttää kaikkialla kaupungissa dieselautojen korvaajina, myös reiteillä jotka kulkevat matalien siltojen tai alikulkutunneleiden kautta. Sol Busilla on useita eri LNG-malleja, joiden polttoainetankkien tilavuus vaihtelee 250 dm³:n ja 1280 dm³:n välillä ja auton käyttösäde 400 km:n ja 600 km:n välillä. (Slizak 2013.)

Käytännössä biokaasu vaatii enemmän energiaa sadalle kuljetulle kilometrille kuin diesel (1524 MJ vs. 1980 MJ, johtuen tehonhäviöistä moottorissa), mutta biokaasun korkeampi energiasisältö korvaa tämän erotuksen (55 MJ/kg vs. 38.10 MJ/kg). (Slizak 2013.)

11 Tulokset ja niiden arviointi

Tässä työssä esitetyt käytännön kokemukset osoittavat biokaasun olevan kilpailukykyinen polttoaine perinteiselle dieselille. Biokaasun etuina muihin vaihtoehtoihin polttoaineisiin ovat niin teknologian kuin polttoaineen saatavuus, toimintavarmuus ja edulliset käyttö- ja käyttöönottokustannukset. Biokaasua on käytetty polttoaineena päivittäisessä linja-autojen reittiliikenteessä ilman mainittavia ongelmia. Pienemmät pakokaasupäästöt ja moottorin hiljaisempi käyntiäänä mahdollistavat kaasukäyttöisten kuorma-autojen liikennöinnin kaupunkien keskustoissa, joissa perinteisten dieselautojen liikkuminen on kielletty.

Kaasukäyttöisillä autoilla on selvästi pienemmät hiilidioksidipäästöt kuin vastaavilla dieselautoilla. Tämä johtuu osaksi pienemmästä polttoaineen kulutuksesta, sillä

kaasu sisältää enemmän energiaa kuin diesel tai bensiini, ja osaltaan metaanin puhtaammasta palamisesta. Epätäydellisessä palamisessa syntyy häkää, mutta kaasumoottoriteknologian kehittyessä hiilimonoksidipäästöt saadaan varmasti pienemmään ja palamisreaktiota puhtaammaksi. Fossiilisia polttoaineita ei riitä ikuisesti, ja koska 40 % öljyllä tuotetusta energiasta kuluu liikenteessä, olisi hyvä siirtyä käyttämään kaasua liikennepolttoaineena ja näin vähentää riippuvuuttamme öljystä. Liikenne olisi verrattain helppo kohde luopua ainakin osaksi fossiilisista polttoaineista.

On totta, että kaasu- tai dual-fuel-käyttöiset linja- ja kuorma-autot ovat kalliimpia kuin dieselkäyttöiset, mutta kaasun edullinen hinta ja uusiutuvuus ovat etuja, joita ei pidä ylenkatsoa. Toistaiseksi takaisinmaksuajat ovat yritysten mielestä liian suuret, jopa seitsemän vuotta, jotta teknologia todella löisi läpi. Kuitenkin yhä useampi kuluttaja on entistä ympäristötietoisempi ja vaatii käyttämiltään palveluilta mahdollisimman pientä hiilijalanjälkeä. Uusiutuva biokaasu on tästä näkökulmasta paras vaihtoehto negatiivisen ilmastomuutosvaikutuksen takia. Kuljetusyritykset ovat myös kiinnostuneita maineestaan, eivät välttämättä pelkää luotettavana ja tehokkaana rahdinkuljettajana, vaan myös ympäristön suojelijana ja kestävä kehityksen kannattajana.

Tällä hetkellä suurin ongelma kaasun yleistymiselle Euroopassa ja Suomessa on tankkausasemien puute. Biokaasu nähdään toimivana ratkaisuna niin maantie- kuin meriliikenteellekin, mutta ei ilman toimivaa tankkausasemien verkostoa. Jakeluverkosto puolestaan tuskin laajentuu ilman kysynnän kasvua. Kuljetusyritysten tulisi yhteistyössä kaasuverkon ylläpitäjien ja kaasun tuottajien kanssa pyrkiä kasvattamaan kaasukäyttöistä kalustoa siellä missä se on mahdollista. Kaasun kysynnän kasvun myötä jakeluverkosto tulisi laajenemaan ja tekniikan yleistyessä sen hankintahinnat ja huoltokustannukset tulisivat pienemmäksi.

Tulosten luotettavuus on kaksipiippuinen asia. Kuljetusyritysten käytännön mittaukset ovat todennäköisesti tarkkoja ja luotettavia, sillä ei ole näkyvissä mitään syytä, miksi kuljetusyritys vääristेलisi omia mittaustuloksiaan. Moottoreiden ja autojen valmistajien tuloksiin tulee suhtautua kriittisemmin. Päästöarvot sekä polttoaineen ku-

lutus on useasti mitattu laboratorio-olosuhteissa ja on siltä kannalta optimaalinen tulos. Käytännön testeissä mittaustulokset voivat olla jotakin muuta kuin annetut arvot. Joka tapauksessa kaikki tulokset ovat yhtäpitäviä ja samaan suuntaan viittaavia, joten tuloksiin voi hyvin todennäköisesti luottaa.

Australialainen Glen M. Watt on tehnyt vuonna 2001 kansainvälisen selvityksen kaasukäyttöisten linja-autojen käytöstä ja selvittänyt yli 10 auton yritysten kokemuksia. Selvitys kattaa neljä mannerta ja yli 15 maata ja on tehty kansainvälisen kaasuaajoneuvoyhdistyksen (International Association of Natural Gas Vehicles Inc.) käyttöön tarkoituksen antaa kattava kuva kaasubussien käytön tämänhetkisestä tilanteesta. Tutkimuksessa on selvitetty muun muassa kaasubussien ajoreitit ja niiden pituus ja autojen toimintaympäristö, polttoaineen kulutus ja päästöt verrattuna dieselbusseihin, ylläpito eli huolto ja luotettavuus, tankkaustekniikka ja -aika sekä mahdolliset ongelmat, haasteet ja mahdollisuudet. Johtopäätökset ovat yhtenevät tämän työn kanssa: dieselautojen etuina on luotettavuus ja teknologian kypsyys mutta haittapuolena ovat pakokaasupäästöt, kaasukäyttöiset linja-autot ovat varteenotettava vaihtoehto dieselajoneuvoille, kaasu on selvästi ympäristöystävällisempi ja edullisempi polttoaine kuin diesel, kaasulla toimivien bussien käyttösäde ja hyötykuorma ovat pienemmät kuin dieselautojen, mutta tekniikka kehittyy jatkuvasti, hankinta- ja huoltokustannukset ovat selvästi dieselautoja korkeammat. Tutkimus löytyy osoitteesta http://apvgn.pt/documentacao/iangv_bus%20fleets.pdf.

12 Jatkotoimenpide-ehdotukset

EU:n yhteisenä tavoitteena on vähentää CO₂-päästöjä vuoteen 2020 mennessä. Hiilidioksidin päästötavoite on olla alle 21 % vuoden 2005 päästöihin verrattuna, Suomessa 16 %. Kasvihuonekaasujen pääasiallinen lähde Suomessa on energia ja sen tuottaminen, noin 78 % vuonna 2008 ja tästä liikenteen osuus on noin 25 %. (Hillintä – ilmasto-opas.fi n.d.)

Liikenteen merkitys päästöihin on siis merkittävä ja siksi liikenteen päästöjen pienentäminen on tärkeää. Kuljetusyritykset eivät tähän kuitenkaan ryhdy ellei päästöjen

pienentämisestä ole heille myös taloudellisia etuja. Valtio voisi kannustaa liikennöitsijöitä rahallisilla kannustuksilla, esimerkiksi erilaisilla verohelpotuksilla.

Kalusto

Uuden kaluston hankkimista tulisi tukea, esimerkiksi korvaamalla dieselkäyttöisen ja dual-fuel-käyttöisen auton hintaero. Tarkoituksena on pienentää yrityksen kuluja siirtäessä ympäristöystävällisempään tekniikkaan ja myös tehdä teknologiasta houkuttelevampaa.

Pienemmistä hiilidioksidipäästöistä johtuen kaasuautojen ajoneuvo- ja autoveron määrä on alhaisempi kuin vastaavilla bensiinikäyttöisillä autoilla. Tässäkin voisi veron määrää alentaa kaasukäyttöisille autoille.

Huolto ja varaosat

Tällä hetkellä etenkin kaasukäyttöisten ajoneuvojen huolto on kalliimpaa kuin dieselkäyttöisten. Teknologia on uutta eikä varaosia ole saatavilla vastaavassa mittakavassa kuin perinteisempiin, dieselajoneuvoihin. Todennäköisesti huoltokustannukset laskevat sitä mukaa, kun uusi teknologia yleistyy ja kokemusta huolloista kertyy. Jotkin tahon tarvitsee kuitenkin olla tiennäyttäjä ja ottaa kaasuaajoneuvoja käyttöön, on se sitten yksityinen kuljetusyritys tai liikennöitsijä.

Teknologia

Biokaasuteknologiassa ei ole tapahtunut merkittäviä edistysaskeleita viime vuosina. Kulutus ei ole pienentynyt uusissa malleissa eikä moottoreiden tehonhäviiöitä ole saatu pienennettyä. Toisaalta moni moottorivalmistaja edelleen uskoo dieselmoottoreihin ja keskittyy niiden kehittämiseen. Koska dieselmoottoreiden suoritusraja tulee vastaan ja joko silloin ryhdytään panostamaan kaasukäyttöisten moottoreiden kehittämiseen ja optimointiin?

Infrastrukturi

Valtion tulisi tukea ja kannustaa myös uusien biokaasun tankkausasemien rakentamista. Ymmärrettävästi tämä olisi houkuttelevampaa jos kaasukäyttöistä kalustoa

olisi enemmän. Kalusto varmasti yleistyisi nopeammin jos tankkausasemia olisi tiheämmässä ja muualla kuin Etelä-Suomessa. Pienimuotoisia biokaasun tuotantolaitoksia voisi helposti syntyä eri puolille Suomea, eikä niiden liittäminen kaasun jakeluverkostoon olisi teknisesti vaikeaa.

Polttoaine

Biokaasun kilohintaa tulisi alentaa entisestään. Syyskuussa 2013 biokaasun vertailulitrahinta 95E-bensiiniin oli 0,963 €/litra, eli selvästi bensiiniä pienempi. Biokaasussa ei tällä hetkellä ole valmisteveroa, mutta vuoden 2015 alusta veronkorotus on 0,04 €/kg. (Liikennekaasun hinta n.d.) Myös käyttövoimaveron poistaminen biokaasuautoilta olisi viisas ratkaisu ja kannustaisi ihmisiä puhtaamman teknologian pariin.

Lähteet

- Bellis, M. n.d. History of Electric Vehicles. Viitattu 8.5.2014. <http://inventions.about.com/>, search, history of electric vehicles.
- Biokaasu. n.d. Suomen Biokaasuyhdistys. Viitattu 3.2.2014. <http://www.biokaasuyhdistys.net>, biokaasu, käyttö.
- Emission Standards: Europe: Heavy-Duty Truck and Bus engines 9.2012. dieselnet.com-sivusto. Viitattu 11.3.2014. <http://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.php>
- Griffiths, T. 2013. Gas Bus Alliance. PowerPoint-esitys NGV2013-konferenssissa Amsterdamissa. Viitattu 26.2.2014. Käyttö vaatii salasanan.
- Hillintä – ilmasto-opas.fi. n.d. Viitattu 24.3.2014. <http://www.ilmasto-opas.fi>, Ilmastomuutos ilmiönä, hillintä.
- Laney, J. 2013. Dual-Fuel performance. PowerPoint-esitys NGV2013-konferenssissa Amsterdamissa. Viitattu 26.2.2014. Käyttö vaatii salasanan.
- Liikennekaasu CNG. n.d. Gasum.fi-sivusto. Viitattu 17.2.2014. <http://www.gasum.fi>, kaasutietoutta, liikennekaasu CNG.
- Liikennekaasun hinta tankkausasemilla. n.d. Gasum.fi-sivusto. Viitattu 24.3.2014. <http://www.gasum.fi>, puhtaampi liikenne, liikennekaasun hinta.
- Liikenteen energiankulutus ja pakokaasupäästöt 2014. motiva.fi-sivusto. Viitattu 13.5.2014. <http://www.motiva.fi>, liikenne, perustietoa liikenteestä ja ympäristöstä, liikenteen energiankulutus ja pakokaasupäästöt.
- LNG raskas maantieliikenne n.d. Gasum.fi-sivusto. Viitattu 19.2.2014. <http://www.gasum.fi>, kaasutietoutta, nesteytetty maakaasu LNG.
- Nesteytetty maakaasu LNG. n.d. Gasum.fi-sivusto. Viitattu 17.2.2014. <http://www.gasum.fi>, kaasutietoutta, nesteytetty maakaasu LNG
- Nylund, N-O., Hulkkonen, S. & Pyrrö, S. 2006. Vaihtoehtoiset polttoaineet ja ajoneuvot. Treatise-projektia varten julkaistu opas. Alkuperäisopas Cleaner Fuels and Vehicles, laatinut brittiläinen Energy Saving Trust 2005.
- Nylund, N-O. & Laurikko, J. 2012. toim. TransEco strategiahankke Suomi 2020. Tieliiikenteen uusiutuva energia ja kasvihuonekaasu-päästöjen vähentäminen vuoteen 2020 mentäessä. VTT:n osatutkimus TransEco –hankkeessa. PDF-dokumentti.

Slizak, M. 2013. Dual-Fuel performance. PowerPoint-esitys NGV2013-konferenssissa Amsterdamissa. Viitattu 27.2.2014. Käyttö vaatii salasanan.

Staimer, R. 2013. Clean Air Bus Transport. PowerPoint-esitys NGV2013-konferenssissa Amsterdamissa. Viitattu 11.3.2014. Käyttö vaatii salasanan.

Tankkausasemat. n.d. Gasum.fi-sivusto. Viitattu 19.2.2014. <http://www.gasum.fi>, puhtaampi liikenne, tankkausasemat.

Timmermans, A. 2013. Vos Logistics: a fleet owner's experiences of LNG fuelled trucks. PowerPoint-esitys NGV2013-konferenssissa Amsterdamissa. Viitattu 11.3.2014. Käyttö vaatii salasanan.

Usein kysytyt kysymykset. 3.8.2011. liikennebiokaasu.fi -sivusto. Viitattu 3.2.2014. <http://www.liikennebiokaasu.fi>, usein kysytyt kysymykset.

van Sambeek, J. n.d. Prins Autogassystemen mittaustulokset päästöille ja polttoainekustannuksille. Sähköpostiviesti 21.11.2013. Vastaanottaja J. Viitala.

Von Beuningen, H. 2011. Päästöraportti 10.1.2011. TNO report: Emission test report of a Prins CNG dual fuel system. Sähköpostiviesti 21.11.2003. Vastaanottaja J. Viitala.